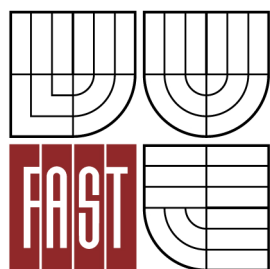




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

RECYKLACE ZASTUDENA

COLD RECYCLING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

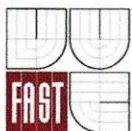
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL ŠPERKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR HÝZL, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Pavel Šperka

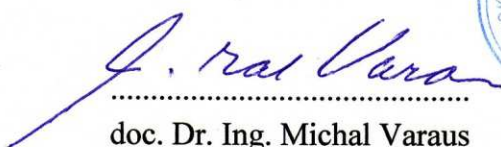
Název Recyklace zastudena

Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2012

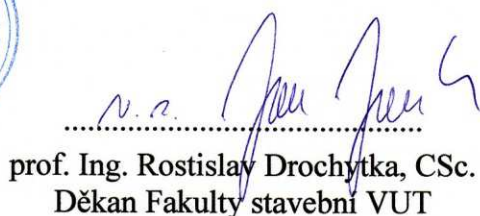
**Datum odevzdání
bakalářské práce** 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012



doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu




prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

TP 208 Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena

Internetové zdroje

Sborníky z konferencí Asfaltové vozovky 2003,2005,2009,2011

Podklady od prováděcí firmy

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V práci bude věnována pozornost technologii recyklace zastudena u netuhých vozovek. Bude zaznamenán současný stav u vybraných úseků s cílem pokusit se zjednodušenou formou vyhodnotit úspěšnost této technologie.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje na zpracování poznatků o recyklacích netuhých vozovek za studena, především na technologie hloubkové a částečné recyklace na místě za studena a jejich výhodami, či důvody pro větší využívání v ČR.

V praktické části práce je vyhodnocen současný stav vybraných úseků, které byly provedeny technologií částečné recyklace na místě za studena. V závěru práce je vyhodnocena úspěšnost této technologie.

Klíčová slova

Recyklace za studena, Částečná recyklace na místě za studena, Celková recyklace na místě za studena, Recyklace v míchacím centru za studena, recyklace, asfaltová emulze, cement, zpeněný asfalt

Abstract

Bachelor's thesis focuses on the processing of knowledge of flexible pavements cold recycling, especially on the technologies if full depth reclamation and partial cold recycling in-place and the benefits or reasons for the increased use in the Czech Republic.

In the practical part of the thesis the current status of selected sections, which were made by practical cold in-place recycling technology, is evaluated. In the end of the work the success of this technology is evaluated.

Keywords

Cold recycling, *Cold in-place recycling*, *Full Depth Reclamation*, *Recycling at the stationary cold mix plant*, *ceycling*, *asphalt emulsion*, *cement*, foamed asphalt

Bibliografická citace VŠKP

ŠPERKA, Pavel. *Recyklace zastudena*. Brno, 2013. 52 s., 6 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2013

.....

podpis autora

Pavel Šperka

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D. za jeho profesionální přístup, ochotu a cenné rady při zpracování této bakalářské práce. Dále také děkuji Ing. Aleši Krupkovi a Ing. Petru Špačkovi z firmy Skanska DS., za poskytnuté materiály a jejich ochotu pomoci. A v poslední řadě děkuji svojí rodině za podporu při studiu.

OBSAH

1	ÚVOD	10
1.1	Stručný popis práce	11
1.2	Cíl práce	11
2	ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE	12
2.1	Rozdělení recyklací netuhých vozovek	12
2.1.1	Recyklace v míchacím centru za horka	12
2.1.2	Recyklace na místě za horka	12
2.1.3	Recyklace v míchacím centru za studena	12
2.1.4	Recyklace na místě za studena	12
2.2	Ostatní základní pojmy	12
2.2.1	R-materiál	12
2.2.2	Zrnitost R-materiálu	13
2.2.3	Recyklované kamenivo	13
2.2.4	Recyklovaná vrstva (RV) / recyklovaná směs (RS)	13
2.2.5	Recyklace	13
2.2.6	Celková recyklace	13
2.2.7	Částečná recyklace	13
2.2.8	Netuhá vozovka	13
3	RECYKLACE NETUHÝCH VOZOVEK NA MÍSTĚ ZA STUDENA	14
3.1	Historie a současnost	14
3.2	Důvody pro větší používání recyklací za studena v ČR	15
3.2.1	Špatný stav silnic v ČR	15
3.2.2	Cena ropy	17
3.2.3	Ekologické důvody	18
3.2.4	Jiné důvody	18
3.3	Diagnostický průzkum	18
3.4	Rozdělení recyklací na místě za studena podle použití pojiva	19
3.4.1	Recyklace bez použití pojiva (nestmelené vrstvy)	19
3.4.2	Recyklace s použitím pojiva (stmelené vrstvy)	19
3.5	Technologie recyklací za studena	19

3.6	Pojiva a příměsi	20
3.6.1	Asfaltová emulze.....	20
3.6.2	Zpěněný asfalt	20
3.6.3	Hydraulická pojiva.....	21
3.6.4	Kombinace pojiv.....	21
3.6.5	Příměsi.....	21
3.7	Rozdělení recyklovaných směsí podle druhu a množství pojiva.....	21
3.7.1	Asfalticky dominantní stmelení	21
3.7.2	Hydraulicky dominantní směsi.....	22
3.8	Celková (hloubková) recyklace za studena.....	22
3.8.1	Základní charakteristika	22
3.8.2	Použití.....	22
3.8.3	Technologický postup	23
3.8.4	Strojní mechanismy.....	23
3.9	Částečná recyklace za studena	25
3.9.1	Základní charakteristika	25
3.9.2	Použití.....	26
3.9.3	Hlavní výhody	26
3.9.4	Používané materiály.....	27
3.9.5	Technologický postup	27
3.9.6	Strojní mechanismy.....	28
3.9.7	Stavby realizované částečnou recyklací na místě za studena v ČR ...	32
3.10	Stanovení pevnosti v příčném tahu.....	32
4	RECYKLACE V MÍCHACÍM CENTRU ZA STUDENA.....	34
4.1	Základní charakteristika.....	34
4.2	Popis technologie	34
4.3	Pokládka recyklované vrstvy.....	35
5	PRAKTICKÁ ČÁST: STAV VYBRANÝCH STAVEB REALIZOVANÝCH ČÁSTEČNOU RECYKLACÍ NA MÍSTĚ ZA STUDENA.....	36
5.1	Charakteristika silnice I/47	36
5.2	Úsek silnice I/47 Přerov – Lýsky	37
5.2.1	Lokalizace úseku	37
5.2.2	Intenzita vozidel	37

5.2.3	Základní údaje o stavbě	37
5.2.4	Složení recyklované směsi	38
5.2.5	Vizuální prohlídka	38
5.2.6	Zkušební práce	39
5.2.7	Vyhodnocení	40
5.3	Silnice I/47 Prosenice – Osek	41
5.3.1	Lokalizace úseku	41
5.3.2	Intenzita vozidel	41
5.3.3	Základní údaje o stavbě	42
5.3.4	Vizuální prohlídka	42
5.3.5	Zkušební práce	43
5.3.6	Vyhodnocení	44
6	ZÁVĚR	45
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	49
9	SEZNAM TABULEK	50
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	51
11	SEZNAM PŘÍLOH	52

1 ÚVOD

Recyklace je znovupoužití stavebních materiálů všeho druhu, které se nacházejí v konstrukcích vozovek. Je jedním z důležitých nástrojů pro zachování udržitelného rozvoje a překlenutí rozporu mezi ekonomickým růstem a ochranou životního prostředí.

Mezi hlavní výhody recyklace patří:

- snižování objemu odpadů;
- omezení čerpání přírodních neobnovitelných zdrojů (kamenivo);
- úspora energií (elektřina, pohonné hmoty, topná média);
- prevence znečišťování (výfukové plyny, prach);
- snižování dalších nežádoucích vlivů (hluk, zatížení komunikací, doba výstavby);
- ekonomické úspory.

Při správném způsobu použití jsou recyklované materiály v mnoha případech stejně hodnotné jako materiály standardní. Využívání recyklovaných materiálů správným způsobem tedy není na úkor kvality stavebního díla.

Nedostatečné vzdělání a informovanost se v mnoha zemích považuje za hlavní bariéru pro uplatnění recyklačních technologií. Problémem je též nevhodný způsob uvádění recyklačních technologií do souvislosti s nakládáním s odpady a tím vznik mnoha uměle vytvořených problémů a zbytečných překážek. Uvádějí se některé dopady na životní prostředí související s recyklací, ale nebere se v úvahu, že uplatnění této recyklace zabrání vzniku dopadů jiných, podstatně rozsáhlejších a škodlivějších.

[1]

Recyklace za studena je doposud v ČR málo využívaná technologie, která je často velmi výhodná při rekonstrukcích silnic. Při této technologii se zužitkuje stávající materiál konstrukce vozovky (tzv. R-materiál), při současném přidání pojiv (cement, asfaltová emulze nebo zpěněný asfalt) pro zlepšení technologických vlastností vozovky (pevnost, únosnost). Recyklace na místě za studena je technologický proces, při kterém se zhotoví recyklovaná vrstva rozpojením a úpravou staré vrstvy recyklačním zařízením přímo na místě za studena. Velmi výrazné jsou finanční úspory stavebních

nákladů při volbě tohoto způsobu opravy komunikací a krátká doba oprav vlivem efektivního využití strojů. [24]

1.1 Stručný popis práce

Tato bakalářská práce se zabývá technologiemi recyklací netuhých vozovek za studena, jejich popisem, hlavními výhodami a důvody pro možné větší používání v ČR.

Hlavní důraz je pak v práci kladen na technologii částečné recyklace netuhých vozovek na místě za studena (do tl. 120 mm), která se v ČR používá teprve od roku 2006, a to pouze společností Skanska DS. Je však zajímavé, že ačkoliv jinde ve světě (zejména v USA), je tato technologie recyklací vozovek velmi využívána, v ČR bylo takto dosud zrealizováno jen několik úseků silnic. Tyto úseky jsou zde také zmíněny. V praktické části se tato práce podrobně zabývá dvěma úseky, které byly provedeny touto technologií recyklace za studena. Na těchto úsecích byla provedena vizuální prohlídka a odebrány jádrové vývrty, následně byla prováděna zkouška v laboratoři na pevnost v příčném tahu dle ČSN EN 13286-42. V závěru práce je pak zhodnocení recyklací netuhých vozovek za studena.

1.2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je jednak popsat druhy technologií recyklací netuhých vozovek za studena a dále se také podrobněji věnovat technologii částečné recyklace netuhých vozovek na místě za studena, a jejím specifikům. U této technologie částečné recyklace na místě za studena je pak také cílem zaznamenat a vyhodnotit současný stav u dvou takto provedených úseků v ČR a zjednodušenou formou stanovit úspěšnost této technologie.

2 ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE

2.1 Rozdělení recyklací netuhých vozovek

2.1.1 Recyklace v míchacím centru za horka

Je technologický proces, při kterém se R-materiál přidává do směsí vyráběných v míchacích centrech za horka. [5]

2.1.2 Recyklace na místě za horka

Je technologický proces, při kterém dochází k ohřátí, rozpojení a úpravě recyklované vrstvy recyklačním zařízením přímo na stavbě. [4]

2.1.3 Recyklace v míchacím centru za studena

Je technologický proces zhotovení recyklované vrstvy převážně z recyklovaného kameniva, které se před dovezením na stavbu upravuje mícháním v centru. [1]

2.1.4 Recyklace na místě za studena

Je technologický proces, při kterém se zhotoví recyklovaná vrstva rozpojením a úpravou staré vrstvy recyklačním zařízením přímo na místě za studena. [1]

2.2 Ostatní základní pojmy

2.2.1 R-materiál

Asfaltová směs znovuzískaná odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek nebo velkých kusů asfaltové směsi a asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby. [1]

2.2.2 Zrnitost R-materiálu

Maximální velikost částic asfaltové směsi v R-materiálu, vyjádřená jako velikost síta (U). [1]

2.2.3 Recyklované kamenivo

Kamenivo získané zpracováním anorganického materiálu dříve použitého v konstrukci. [1]

2.2.4 Recyklovaná vrstva (RV) / recyklovaná směs (RS)

Vrstva vozovky / stavební směs, která je zhotovená recyklací na místě nebo z dodávaného převážně recyklovaného kameniva nebo kombinací obou způsobů. [1]

2.2.5 Recyklace

Technologický proces, kterým se zhotoví recyklovaná vrstva. [1]

2.2.6 Celková recyklace

Je recyklace podkladních vrstev nebo společná recyklace krytu (nebo jeho části) a podkladních vrstev na místě do hloubky obvykle 120 mm až 250 mm, kde se jako pojivo používá cement nebo kombinace cementu + asfaltové emulze / zpěněného asfaltu. Cement je možno nahradit hydraulickým pojivem na bázi cementu. [1]

2.2.7 Částečná recyklace

Je recyklace asfaltových vrstev v krytu na místě do hloubky max. 120 mm, kde se jako hlavní složka pojiva používá asfaltová emulze. [1]

2.2.8 Netuhá vozovka

Je to vozovka s krytem z asfaltových vrstev a nestmelenými podkladními vrstvami. [2]

3 RECYKLACE NETUHÝCH VOZOVEK NA MÍSTĚ ZA STUDENA

Pod pojmem recyklace netuhých vozovek na místě za studena je myšlena technologie oprav vozovek (zejména II. a III. tříd), kdy se opětovně používá materiál stávající konstrukce vozovky. Ten se rozfrézuje, zamíchá s pojivy (nejčastěji se používá cement, asfaltová emulze či asfaltová pěna), zhutní a upraví do potřebného profilu. Na takto upravený podklad se kladou buď další asfaltové vrstvy, nebo se povrch ošetří aplikací nátěrových, popř. jiných technologií podle únosnosti vozovky a očekávaného dopravního zatížení. [19]

3.1 Historie a současnost

První pokusy začít požívat recyklaci za studena na místě byly prováděny po II. světové válce ve Velké Británii. Tato metoda se dále rozvíjela od poloviny 80. let, a to především díky: lepší znalosti cementu a materiálů, použití výkonnějších strojů a rostoucímu ekologickému povědomí. V současné době je metoda recyklací za studena nejvíce požívána především v USA, Austrálii, Německu, Jižní Africe, a Španělsku. [2]

V ČR se technologie recyklací za studena začala prosazovat až po roce 1989. S rozvojem a používáním těchto technologií bylo potřeba doplnit chybějící předpisy. Začala tak tvorba nových technických podmínek. Těch postupně vzniklo hned několik. Jak ale postupem času přibývalo zrealizovaných staveb recyklací za studena, hromadily se i poznatky z praxe a tak nakonec byla provedena revize těchto technických podmínek a v roce 2009 byly sloučeny do jediného TP 208. [18]

V současné době je již tak předpisová základna pro recyklace za studena zcela připravena k plnému využívání a nic nebrání používání této technologie. I přes to, ale není technologie recyklací na místě za studena v ČR využívána tak rozsáhle, jako v USA nebo některých evropských státech, kde se recyklační technologie provádějí v deseti až stonásobném objemu prováděného v ČR. [18], [20]

V následující tabulce je uvedeno srovnání používání recyklovaných asfaltových směsí v ČR a v některých státech:

Tab. 1: Výroba asfaltových směsí v Evropě a USA v roce 2008 [8]

	Běžné asfaltové směsi [mil.t]	Recyklované asfalt. směsí [mil.t]	Poměr běžné/recyklované
Francie	42,3	6,5	15%
Velká Británie	25,7	4	15%
Německo	51	14	27%
Itálie	35,1	14	40%
Holandsko	10,2	3,5	34%
USA	500	100	20%
Česká republika	7	0,65	9%

3.2 Důvody pro větší používání recyklací za studena v ČR

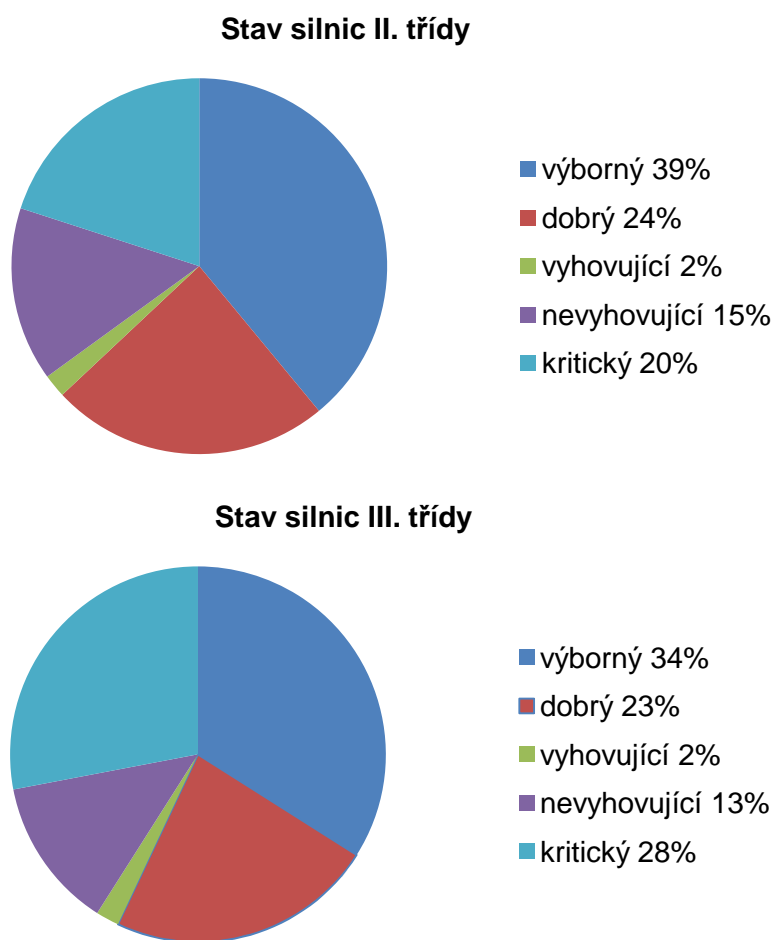
3.2.1 Špatný stav silnic v ČR

Stávající stav vozovek silniční sítě v ČR je ve srovnání s okolními zeměmi (Německo, Rakousko) špatný. Zvláště pak vozovek silnic II. a III. třídy.



Obr. 1: Ukázka špatného stavu silnic v ČR – síťové trhliny [10]

K 1. 1. 2013 bylo v ČR celkem v provozu 5808 km silnic I. třídy, 14543 km silnic II. třídy a 34172 km silnic III. třídy, přičemž u silnic II. třídy je min. 20% silnic v havarijním stavu a u III. třídy je to dokonce min. 28% silnic, které jsou v havarijním stavu (viz Obr. 1). Vozovky s krytem z asfaltového betonu jsou často celoplošně poškozeny výtluky nebo síťovými trhlinami. Řada krytů je pak poškozena nepravidelnými trhlinami v důsledku výrazného zestárnutí pojiva. Kryty z penetračního makadamu, u kterých není prováděna žádná údržba ani opravy, se často rozpadají na šterkové vozovky, objevují se celoplošné výtluky, síťové trhliny a deformace. [16], [17]

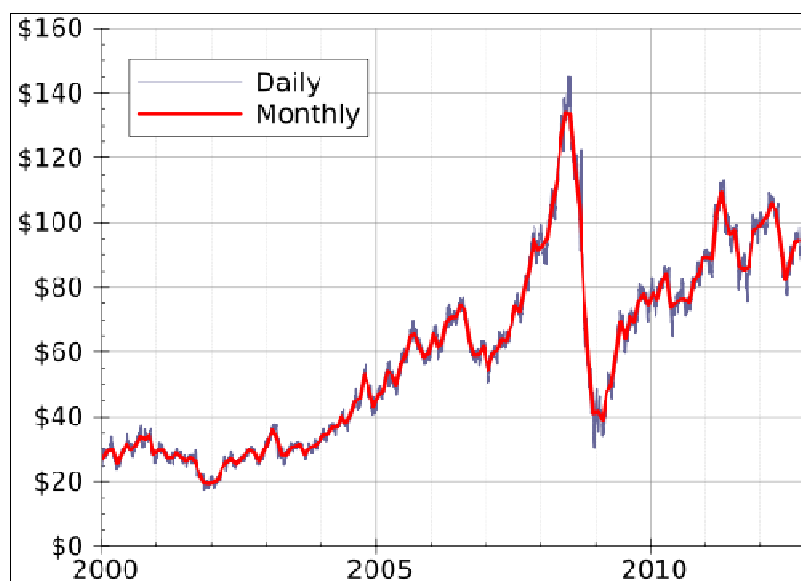


Obr. 2: Stav silnic II. a III. třídy v ČR [2]

V současné době však na opravy těchto silnic ve státním rozpočtu chybí dostatek finančních prostředků. Výhledově bude situace pravděpodobně ještě horší. Z tohoto pohledu je metoda recyklace vozovek za studena velmi vhodná, protože za stejných vynaložených finančních prostředků se může opravit podstatně více km silnic, než při běžných metodách rekonstrukcí používaných v ČR.

3.2.2 Cena ropy

Dalším možným důvodem pro používání recyklací vozovek je také neustále se zvyšující se cena ropy na světových trzích. Za posledních 10 let vzrostla cena ropy několikanásobně. Z toho se dále odvíjí samozřejmě ceny asfaltu a asfaltových směsí, které také podstatně vzrostly. Recyklace za studena je z tohoto důvodu velmi výhodná, protože se při této technologii spotřebuje podstatně méně asfaltového pojiva, než při běžných rekonstrukcích vozovek, které se v ČR používají.



Obr. 3: Vývoj cen ropy [\$/bbl] [6]

Tab. 2: Vývoj průměrných cen ropy a asfaltu [2]

Roky	Cena	
	Barel ropy [\$/bbl]	Tuna asfaltu [\$/t]
1970	3,4	20,0
1980	37,4	160,0
1990	23,2	142,0
2000	27,4	200,0
2005	50,0	232,0
2008	120,0	650,0
2010	84,2	510,0
2013	92,0	607,0

3.2.3 Ekologické důvody

Technologie recyklací za studena na místě jsou oproti běžným technologiím oprav vozovek výrazně šetrnější k životnímu prostředí. Mezi jejich hlavní výhody patří:

- redukce skleníkových plynů (zejm. CO₂);
- snížení znečištění ovzduší (prach, výfukové plyny – snížení objemu těžké nákladní dopravy);
- omezení skládek (materiál z vozovky je znovu použit);
- omezení hlučnosti a vibrací v okolí stavby;
- zamezení plýtvání neobnovitelných materiálových zdrojů (úspora asfaltu, kameniva, pohonných hmot, atd.);
- úspora energetických zdrojů (např. oproti recyklaci za horka, která je velmi energeticky náročná).[2]

3.2.4 Jiné důvody

Mezi další důvody pro větší používání recyklací za studena na místě patří především:

- prodloužení životnosti vozovky (cca o 15 – 20 let),
- zkrácení doby provádění,
- úspora pracovních síl,
- zamezení poškození pozemních komunikací, které jsou přilehlé k místu stavby,
- omezení (eliminaci) nákladů, které by byly potřebné na likvidaci materiálů odvezených.

3.3 Diagnostický průzkum

Rozhodnutí o recyklaci vrstev konstrukce vozovky za studena musí vždy předcházet diagnostický průzkum, který musí zahrnovat:

- vizuální prohlídku pro identifikaci poruch;
- jádrové vývrty nebo kopané sondy pro zjištění stavu, tloušťek, druhu konstrukčních vrstev a druhu zeminy v podloží;
- průkaz dostatečné únosnosti podloží (resp. zbytkové životnosti konstrukce vozovky. [1])

3.4 Rozdělení recyklací na místě za studena podle použití pojiva

3.4.1 Recyklace bez použití pojiva (nestmelené vrstvy)

Je to buď reprofilace stávající konstrukce vozovky, nebo se provádí z recyklovaného kameniva. Výslednou vrstvou, která takto vznikne je buď štěrkodrt' nebo mechanicky zpevněné kamenivo. Používá se hlavně do podkladních vrstev. [2]

3.4.2 Recyklace s použitím pojiva (stmelené vrstvy)

Použitím pojiva se dosáhne vyšší únosnosti celé konstrukce vozovky a zhodnotí se původní materiál. Mezi recyklace s použitím pojiva patří:

- částečná recyklace za studena (do 120 mm),
- hloubková recyklace za studena (nejč. do 250 mm).

Těmto způsobům recyklace vozovek se věnují podrobně kapitoly 3.8 a 3.9.

3.5 Technologie recyklací za studena

Tab. 3: Přehled technologií recyklace za studena [1]

Rozdělení podle druhu pojiva	Technologie studené recyklace pro vrstvy vozovek	
	Recyklace na místě	Recyklace v míchacím centru (z dodaného recyklovaného kameniva a/nebo R-materiálu)
Bez pojiva	Reprofilace a homogenizace nestmelené vrstvy s možností přidání dalšího materiálu za účelem zlepšení zrnitosti	Použití recyklovaného kameniva a/nebo R-materiálu pro nestmelené vrstvy Původní předpis: TP 111
Cement	Recyklace vrstev, které neobsahují asfaltové pojivo	Použití recyklovaného kameniva, které neobsahuje asfaltové pojivo
Jiné hydraulické pojivo		
Asf. emulze a cement	Společná recyklace vrstev, které obsahují asfaltové pojivo a vrstev bez asfaltového pojiva Původní předpis: TP 162	Použití směsi R-materiálu a recyklovaného kameniva, které neobsahuje asfaltové pojivo
Zpěněný asfalt a cement		
Asf. emulze	Recyklace vrstev asfaltového krytu	Použití R-materiálu pro vrstvy asfaltového krytu. Původní předpis: TP 134, TP 126
Zpěněný asfalt		

Pozn.: Recyklacím v míchacím centru se věnuje samostatná kapitola č. 4

Tab. 4: Technologické procesy recyklace za studena [1]

Technologický proces	Co se recykluje			Pojivo	Výsledná recyklovaná vrstva
	Asfaltové vrstvy	Penetrační makadam, nátěry	Vrstvy bez asfaltového pojiva		
NESTMELENÉ VRSTVY – RECYKLACE BEZ POUŽITÍ POJIVA					
Celková recyklace na místě	OMEZENĚ max. 30% ¹⁾	ANO		—	ŠD
Použití dodávaného převážně recyklovaného kameniva	ANO ²⁾	ANO		—	ŠD, MZK
STMELENÉ VRSTVY – RECYKLACE S POUŽITÍM POJIVA					
Celková recyklace na místě nebo recyklace v centru	OMEZENĚ max. 30% ¹⁾		ANO min. 70%	hydraulické pojivo	SC
	ANO 30% až 70%		ANO 30% až 70%	cement +asfaltová emulze nebo zpěněný asfalt	SC C _{3/4} ⁴⁾
Částečná recyklace na místě nebo recyklace v centru	ANO	NE	NE	asfaltová ³⁾ emulze nebo zpěněný asfalt	ACL, ACP ⁴⁾
¹⁾ Pokud by podíl asfaltových vrstev překročil 30 % celkové hmotnosti materiálu recyklované vrstvy, doporučuje se část asfaltových vrstev předem odstranit (vyfrézovat a odvézt k dalšímu použití).					
²⁾ R-materiál					
³⁾ Pro zlepšení vlastností je možno v omezené míře jako přísadu přidávat cement nebo vápenný hydrát.					
⁴⁾ Srovnatelná vrstva při návrhu konstrukce vozovky podle TP 170.					

3.6 Pojiva a příměsi

3.6.1 Asfaltová emulze

Používá se kationaktivní asfaltová emulze s obsahem asfaltu 58 až 63% hmotnosti.

3.6.2 Zpěněný asfalt

Jeho hlavní výhodou je snadnější obalení materiálu. Vzniká řízeným procesem dávkováním malého množství vody do horkého asfaltu za zvýšeného tlaku speciálním postupem. Zpěněný asfalt musí být zhotoven a dávkován současně. V porovnání s asfaltovou emulzí umožňuje snížení množství asfaltu na zpracování základní směsi. Pro výrobu se používají asfalty tříd 50/70, 70/100, 100/150 nebo 160/220. Některé přísady do asfaltu nebo přítomnost modifikovaného asfaltu však mohou významně omezit schopnost asfaltu vytvářet zpěněný asfalt. [1]

3.6.3 *Hydraulická pojiva*

Mezi hydraulická pojiva patří vápno, cement či pomalu tuhnoucí pojivo. Se zvyšujícím se obsahem hydraulického pojiva se zvyšují také pevnostní parametry základní směsi, ale současně se zvyšuje nebezpečí vzniku trhlin.

Cement zabezpečuje požadované pevnosti a odolnost proti mrazu a vodě směsi obalované za studena na místě a zvyšuje její využitelnost při zřizování podkladových vrstev vozovky. Pro optimální zrnitost upraveného materiálu je vhodné množství cementu v rozmezí 3-5% hmotnosti směsi. Cement se do směsi přidává buď přímo, nebo jako cementová suspenze (voda + cement). Používá se cement třídy nejméně 32,5. Jako hydraulické pojivo se používá nejčastěji vápno.

3.6.4 *Kombinace pojiv*

Jako kombinace pojiv se nejčastěji používá:

- Cement + vápno: Vápno snižuje riziko vzniku smršťovacích trhlin.
- Cement + asfaltové pojivo: Kombinací těchto pojiv se dosáhne požadovaných pevnostních parametrů základní směsi a zároveň větší flexibility směsi. Asfaltová emulze musí splňovat potřebnou kompatibilitu vůči cementu. K vyštěpení asfaltové emulze musí dojít před začátkem tuhnutí cementu a před hutněním základní směsi. [3]

3.6.5 *Příměsi*

Pro zlepšení vlastností lze použít další vhodné příměsi, kterými mohou být například popílky, odprašky, prostředky pro regeneraci pojiva, atd. [1]

3.7 Rozdělení recyklovaných směsí podle druhu a množství pojiva

3.7.1 *Asfalticky dominantní stmelení*

Převažuje množství asfaltu (asfaltové emulze či zpěněného asfaltu). Používá se:

- při vysokém obsahu asfaltového podílu v recyklované vozovce;
- u materiálů s plynulou čarou zrnitosti (stávající nebo po přidání dalších frakcí);

- u konstrukcí vozovek, kde je potřeba, aby byly netuhé;
- u dostatečně únosných vozovek. [2]

3.7.2 *Hydraulicky dominantní směsi*

Ve směsi převažuje množství cementu či vápna. Využívá se:

- v případech, když není možné zlepšit čáru zrnitosti R-materiálu;
- v případech, když se očekávají značné výkyvy nehomogenity materiálu;
- při nízké únosnosti vozovky. [2]

3.8 Celková (hloubková) recyklace za studena

3.8.1 *Základní charakteristika*

Celková recyklace vozovek za studena je v České republice velmi rozšířený typ rekonstrukce silničních staveb. Běžně se provádí v hloubce 120 mm až 250 mm, ale může se provádět až do hloubky 500 mm.

Při celkové recyklaci se pro rozpojení původních vrstev vozovky do požadované hloubky a promíchání takto vzniklého materiálu s přidávaným pojivem, přísadami, vodou a příp. dalším materiálem (kamenivo) používá obvykle fréza. Některé složky (kamenivo, cement) je možné dávkovat předem rozprostřením na povrch recyklované vrstvy – proto musí být pro jejich dávkování k dispozici vhodný aplikátor. Proces dávkování pojiv (asfaltová emulze, zpeňný asfalt, cementová suspenze) a vody musí být automaticky dávkován přes recyklační frézu v závislosti na rychlosti pojezdu a šířce úpravy tak, aby bylo vždy dávkováno předepsané množství. Rozfrézovaný a promíchaný materiál se pak běžnými pracovními postupy urovná a zhutní. Přitom se musí zajistit, aby navazující vrstvy měly z důvodu potřebného přesahu okrajů odstupňované šířky. [21]

3.8.2 *Použití*

Tato technologie je vhodná především pro komunikace III. tříd (popř. II. tříd), kde bývá kryt vozovky tvořen většinou penetračním makadamem.

Používá se zejména při neúnosném podloží vozovky a také tam, kde je únosnost vozovky vyčerpána a vozovka je natolik porušena, že je nezbytná rekonstrukce více vrstev. Příznakem je výskyt síťových trhlin, často doprovázených četnými výtluky a plošnými deformacemi zejména ve stopách vozidel nebo při okrajích vozovky. [1]

3.8.3 Technologický postup

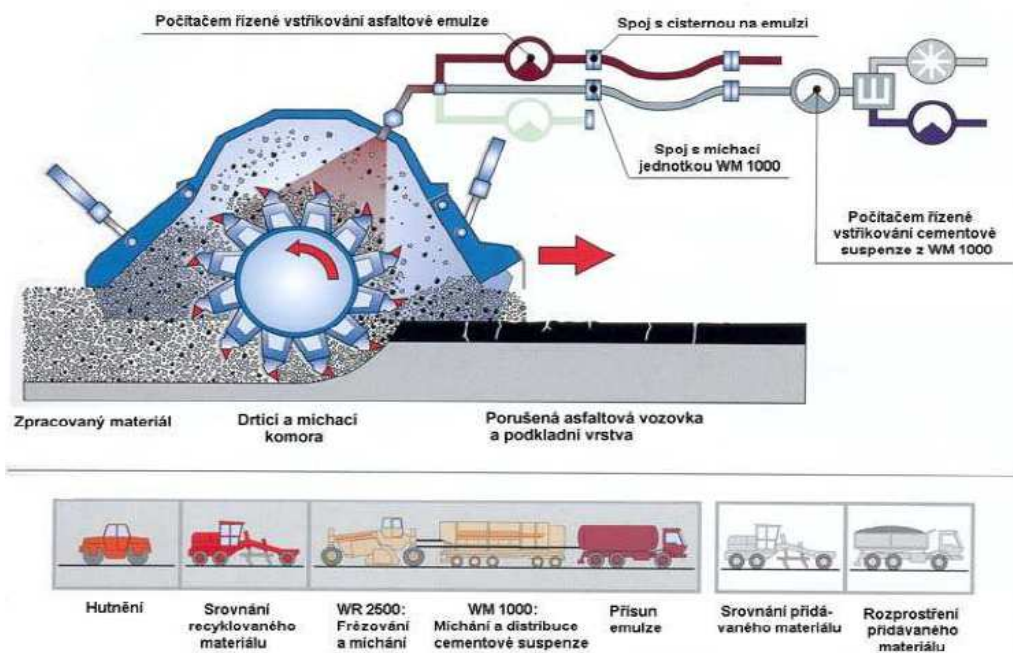
Mezi hlavní fáze při provádění celkové recyklace za studena patří:

- frézování/drcení krytu a podkladních vrstev původní vozovky;
- odvoz přebytečného materiálu – jen v intravilánu;
- v případě nevhodné čáry zrnitosti její úprava přidáním frakce kameniva (např. kamenivo frakce 0-4);
- přidání pojiv k recyklovanému materiálu – laboratorně navrženo;
- míchání směsi recyklovaného materiálu a pojiva;
- předhutnění směsi, reprofilace a hutnění;
- ochrana a ošetřování k zamezení vzniku smršťovacích trhlin – při použití hydraulických pojiv. [2]

3.8.4 Strojní mechanismy

Pro celkovou recyklaci na místě za studena se používají se tyto strojní mechanismy:

- recyklační frézy (recykléry): Hlavním prvkem recykléru je frézovací buben, který odfrézovává stávající povrch vozovky a mísí jej s pojivou v robustní frézovací a mísící komoře.
- míchací jednotka pro výrobu cementové suspenze,
- distributory cementu,
- grejdry,
- hutnicí mechanismy,
- cisterny na vodu a na asfaltovou emulzi
- stroje na řezání spár. [2]



Obr. 4: Sestava mechanismů při dávkování cement. suspenze a asfalt. emulze [2]



Obr. 5: Recyklér [8]

3.9 Částečná recyklace za studena

3.9.1 Základní charakteristika

Částečnou recyklací za studena nebo také recyklací asfaltových hutněných vrstev, se rozumí opakované použití stmelených nebo nestmelených silničních stavebních materiálů, při kterém se technologické zařízení pohybuje po zpracovávané vrstvě s těmito pracovními kroky: rozpojení původních vrstev konstrukce vozovky, přidání přísad, dávkování pojiva k recyklovanému materiálu, míchání, pokládka, hutnění a následné překrytí tenkou vrstvou nové asfaltové směsi. Provádí se do hloubky max. 120 mm.

Od roku 2006 je společnost Skanska DS majitelem strojní sestavy dovezené z USA, která umožňuje právě tuto částečnou recyklaci asfaltových vrstev za studena na místě. V ČR je taková strojní linka jediná svého druhu. Ačkoliv se však jedná v některých státech (zejména v USA) o již přes 20 let používanou, poměrně rozšířenou a v současné době stále více využívanou technologii pro rekonstrukce vozovek, v ČR nenachází zatím příliš mnoho uplatnění.



Obr. 6: Částečná recyklace na místě za studena [8]

3.9.2 Použití

Protože tato technologie odstraňuje poruchy asfaltové vrstvy do hloubky 120mm, je vhodná pro rekonstrukce silnic I., II. a III. tříd, které mají dostatečně únosné a neporušené podloží. Metoda je vhodná zejména k opravám vozovkových krytů, jejichž konstrukce obsahuje hutněné asfaltové vrstvy, vrstvy asfaltových postřiků, nátěrů a jiné vrstvy obsahující asfaltové pojivo. Vždy je potřeba diagnostikovat původní vozovku a určit příčiny poruch. V USA se dokonce používá i pro recyklaci dálnic a rychlostních komunikací.

Poruchy vozovky, které mohou být touto technologií recyklace odstraněny:

- výtluky,
- rozdrolení,
- vystupování asfaltu na povrch,
- nevyhovující protismykové vlastnosti,
- vyjeté koleje,
- příčné, podélné či reflexní trhliny,
- nerovnosti vozovky. [8]

3.9.3 Hlavní výhody

Kromě již zmíněných výhod recyklací za studena na místě má tato technologie ještě další výhody:

- Rychlost: Mezi hlavní přednost této technologie oproti jiným metodám rekonstrukcí vozovek patří rychlost rekonstrukce vozovky, a s tím související i minimalizace dopravních omezení. Rychlost je dána tím, že se zároveň pohybuje celá sestava strojních mechanismů, a tím se mohou provádět všechny úkony recyklace. Zařízení je tak schopno opravit za hodinu pás vozovky o délce až 150 m a šířce 3,5 m. Za den pak může být zrekonstruováno až 1,5 km silnic.
- Práce za provozu: Pokud se provádí rekonstrukce vozovek dvoupruhových komunikací, umožňuje tato technologie recyklace za studena provádět práce v jednom jízdním pruhu, za současného provozu v druhém jízdním pruhu, což u některých technologií rekonstrukcí vozovek není možné.

3.9.4 Používané materiály

Pro částečnou recyklaci za studena na místě se používají nejčastěji tyto stavební materiály:

- R-materiál granulometricky upravený na zrnitost 32 mm,
- kamenivo: možné pro úpravu čáry zrnitosti,
- voda: pro optimální vlhkost (zhutnění),
- asfaltová emulze kationaktivní stabilní (při vyšší dopravní zátěži se používají modifikované asfaltové emulze),
- hydraulická pojiva: vápenný hydrát, cement (množství do 1%, používají se při špatných klimatických podmínkách, nebo pokud je požadavek na vyšší tuhost vrstvy). [8]

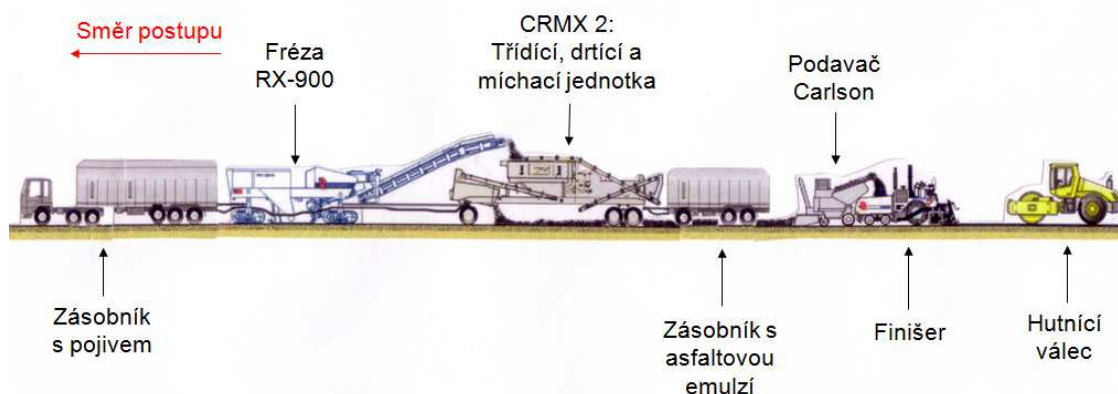
3.9.5 Technologický postup

Hlavní práce prováděné při částečné recyklaci za studena na místě:

- Frézování asfaltových vrstev vozovky silniční frézou.
- Třídění a předrcení materiálu pomocí stroje CRMX 2: podrobněji popsáno v kapitole 3.6.5.2.
- Dávkování pojiv k R-materiálu a míchání směsi pomocí stroje CRMX 2: podrobněji popsáno v kapitole 3.6.5.2.
- Rozprostření vrstvy: Po promíchání je recyklovaná směs ponechána v podélné hrázce na vyfrézovaném podkladu. Odtud je dále sbírána pomocí elevátoru do násypky finišeru, který ji pak rozprostře v požadované tloušťce, výškových a směrových parametrech, a předhutní.
- Hutnění nové vrstvy a její ošetřování: Hutnění probíhá nejprve pomocí těžkého vibračního válce a poté se provádí pomocí pneumatikového válce.
- Uzavření povrchu recyklované vrstvy: Povrch recyklované vrstvy se uzavře dvouvrstvým nátěrem s podrcením, popř. mikrokobercem, nebo se překryje hutněnými asfaltovými vrstvami. [2], [8]

3.9.6 Strojní mechanismy

Technologie provádění recyklace vozovek je založena na vhodně sestavené soupravě strojních mechanismů, tzv. recyklačním vlaku, což ukazuje následující obr.:



Obr. 7: Sestava recyklačního vlaku [8]



Obr. 8: Pohled na recyklační vlak [8]

3.9.6.1 Silniční fréza

Základem recyklační sestavy je výkonná silniční fréza s možností frézování až do hloubky 350 mm, s šířkovými moduly 2,5 a 3,8 m a nivelačním systémem. Fréza se svým výkonem 950 HP tlačí a táhne celou sestavu strojů. Její odlišnost od běžné frézy je v pohybu frézovací hlavy a dopravního pásu směrem vzad. [9]

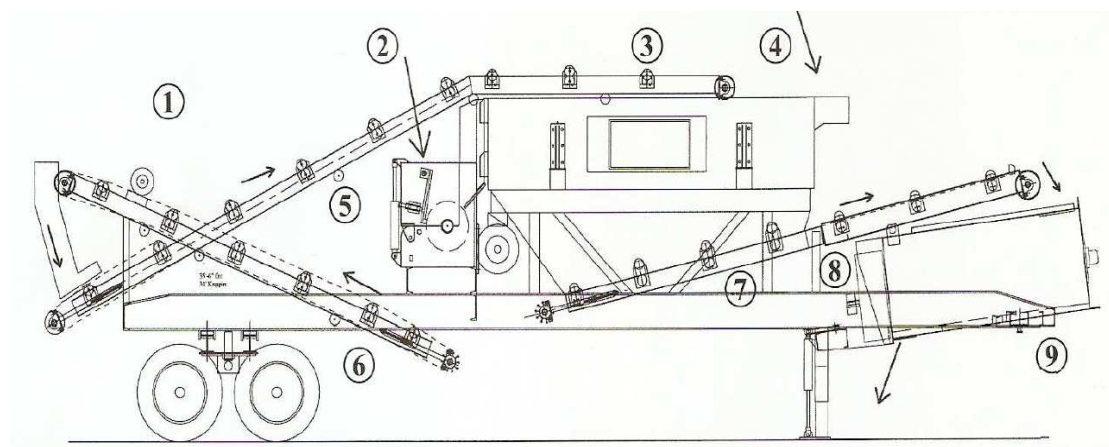


Obr. 9: Silniční fréza Roadtec RX 900 [8]

3.9.6.2 Jednotka CRMX 2 pro třídění, drcení a míchání R-materiálu s emulzí

Recyklační stroj CRMX 2 zajišťuje výrobu homogenní směsi. Vyfrézovaný materiál prochází přes síťový třídič, který je opatřen dvěma podlažími sít s proměnnou amplitudou i frekvencí. Případná velká zrna a bloky jsou nejprve drceny rotačním drtičem. Materiál, který splňuje požadavky na zrnitost a propadne sítí a putuje pomocí pásového dopravníku vybaveného váhou do dvouhřídelového lopatkového mísiče, kde je obohacen o nová pojiva a je promíchán. Následně je vysypán na vyfrézovanou vozovku v podélné hrázce. Průměrný výkon zařízení je 400 t/hod. [9]

Dávkování pojiv je řízeno počítačovou jednotkou, která vše vyhodnocuje na základě vstupních údajů a hodnot z pásové váhy. Jako pojivo je použita asfaltová emulze, vápno, případně cementová suspenze, jež slouží k úpravě vlhkosti materiálu a k urychlení procesu štěpení pojiva. Dávkování vápna je ve formě suché směsi. Asfaltová emulze, jejíž cirkulaci si zajišťuje stroj CRMX2 sám, je dávkována do mísiče ze zásobníku. V případě použití cementové suspenze, která je dávkována prostřednictvím frézy, je její výroba zajištěna v betonárnách v blízkosti stavby a doprava zabezpečena v cisternách s nuceným mícháním. Asfaltová emulze, jejíž cirkulaci si zajišťuje stroj CRMX2 sám, je dávkována do mísiče ze zásobníku. [9]



Obr. 10: Schéma jednotky CRMX 2 [2]

1-dopravní pás pro předrcený materiál, 2-drtič, 3-dvoupodlažní síťový třídič, 4-otvor pro vyfrézovaný materiál, 5-hydraulicky ovládané vstupní a výstupní otvory, 6-řiditelná zadní dvounáprava, 7-řídící jednotka, 8-dvouhřídelová míchačka, 9-vypouštěcí otvor recyklované směsi [2]

Manévrovací schopnosti stroje CRMX 2:

- úhel natočení kol: 25°
- poloměr otáčení: 24m
- maximální sklon vozovky, kde je možné stroj po: 6%



Obr. 11: Jednotka CRMX 2 [8]

3.9.6.3 *Sběrač a podavač namíchané směsi Carlson*

Nakládá zrecyklovanou homogenní směs elevátorovým dopravníkem z podélné hrázky do násypky finišeru. Výkon tohoto zařízení je kolem 800 t/hod. [8]



Obr. 12: Sběrač směsi Carlson WP-800 [8]

3.9.6.4 *Další mechanismy*

Mezi další mechanismy používané při částečné recyklaci za studena patří:

- zásobníkové cisterny na hydraulické přísady, asfaltovou emulzi, a vodu,
- finišer,
- hutnicí technika (těžké vibrační a pneumatikové válce),
- další frézy,
- příp. sypače kameniva. [2]

3.9.7 Stavby realizované částečnou recyklací na místě za studena v ČR

V letech 2007-2010 byly v ČR firmou Skanska DS realizovány touto technologií následující úseky silnic:

Tab. 5: Přehled staveb prováděných částečnou recyklací za studena

Stavba	Datum provádění	Pojivo	Plocha [m ²]	Tl. recyklované vrstvy [mm]
I/56 Bílá – Hlavatá	08/2006	CEM + AE	16000	120
I/58 Příbor – Frýdek Místek	09/2006	CEM + AE	12000	100
III/4916 Slušovice – Nové Dvory	10/2006	CEM + AE	4657	80
II/152 Lhotice – Dědice	06/2007	AE Mod	21000	80
I/47 Přerov - Lýsky	08/2007	AE Mod	16406	100
II/183 Hradiště – Koloveč	09/2008	AE Mod	21000	80
I/47 Prosenice - Osek	10/2008	AE Mod	16000	100

Současnému stavu dvou tučně zvýrazněných staveb se podrobně věnuje praktická část bakalářské práce: kapitola č. 5.

3.10 Stanovení pevnosti v příčném tahu

Tato zkouška byla provedena v praktické části této bakalářské práce. Zkouška se provádí na zkušebních tělesech. Postupuje se podle ČSN EN 13286-42 s tím, že:

- zkušební tělesa se temperují na vzduchu po dobu 4 hodin na teplotu $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$;
- tlačný pásek má šířku 0,1 průměru zkušebního tělesa;
- zkušební těleso se zkouší při konstantním posunu čelisti lisu (50 ± 1) mm/min.

[1]

Výsledkem zkoušky je pevnost zkušebního tělesa, která se spočítá ze vztahu:

$$R_{it} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot H \cdot D} ;$$

kde: R_{it} je pevnost zkušebního tělesa v příčném tahu [Pa];

F je maximální zatěžovací síla při porušení zkušebního tělesa [N];

H je výška zkušebního tělesa [m];

D je průměr zkušebního tělesa [m]. [1]



Obr. 13: Stanovení pevnosti v příčném tahu

Tab. 6: Kontrolní zkoušky recyklovaných stmelených směsí [1]

Typ směsi podle pojiva	Vlastnost	Požadavky	Zkouška	Četnost ¹⁾
cement nebo jiné hydraulické pojivo	Vlhkost ²⁾	-3% až +2%	ČSN EN 1097-5	2000 t nebo 6000 m ² min. 1× denně
	Min. pevnost v tlaku R_c po 28 dnech ³⁾	$C_{3/4}$	ČSN EN 14227-1	
	Odolnost proti mrazu a vodě	85% pevnosti R_c		
	Min. pevnost v příč. tahu R_{ft} po 7 dnech ³⁾	0,25 MPa	Příloha B.2.9	
	Odolnost proti vodě min. (7 dní na vzduchu + 7 ve vodě)	75% pevnosti R_{ft}	Příloha B.2.9	
cement + asfaltová emulze nebo zpěněný ⁴⁾ asfalt	Vlhkost ²⁾	-3% až +2%	ČSN EN 1097-5	2000 t nebo 6000 m ² min. 1× denně
	Min. pevnost v příč. tahu R_{ft} po 7 dnech	0,25 MPa	Příloha B.2.9	
	Odolnost proti vodě min. (7 dní na vzduchu + 7 ve vodě)	75% pevnosti R_{ft}	Příloha B.2.9	
asfaltová emulze nebo zpěněný ⁴⁾ asfalt	Vlhkost ²⁾	-3% až +2%	ČSN EN 1097-5	2000 t nebo 6000 m ² min. 1× denně
	Min. pevnost v příč. tahu R_{ft} po 7 dnech	0,25 MPa	Příloha B.2.9	
	Odolnost proti vodě min. (7 dní na vzduchu + 7 ve vodě)	60% pevnosti R_{ft}	Příloha B.2.9	
	Mezerovitost	6% až 14%	Příloha B.2.8	

¹⁾ Četnost v tunách platí pro výrobu směsi v míchacím centru, v m² pro recyklaci na místě

²⁾ Informativní hodnota pro účely výpočtu suché objemové hmotnosti zkušebních těles. Její následnou kontrolu je možno provádět vizuálně podle přílohy C.2.4. Vlhkost, případně její max. odchylky od deklarované hodnoty musí být takové, aby bylo možné vrstvu správně ztuhnit

³⁾ Zkouší se pevnost v tlaku a odolnost proti mrazu a vodě nebo pevnost v příčném tahu a odolnost proti vodě v souladu s použitou průkazní zkouškou.

⁴⁾ Při použití zpěněného asfaltu se min. 2x denně kontrolují jeho vlastnosti podle 6.3.3.

4 RECYKLACE V MÍCHACÍM CENTRU ZA STUDENA

4.1 Základní charakteristika

Recyklací v míchacím centru za studena se rozumí opětovné zpracování materiálů z konstrukce vozovky, které se provádí v běžně používaných míchacích centrech (tzv. obalovnách) na výrobu asfaltových nebo cementobetonových směsí. [3]

Vyfrézovaná asfaltová směs (tzv. R-materiál) se samozřejmě může rovnou využít ke zlepšení podloží, či ke zhotovení ochranné vrstvy konstrukce vozovky. Obecně ale platí, že R-materiál, který obsahuje stanovené množství asfaltových pojiv a kameniva, se lépe využije při výrobě nových asfaltových směsí.

4.2 Popis technologie

R-materiál se odveze do míchacího centra, kde se buď okamžitě zpracovává, nebo se deponuje s následným zpracováním. Míchací centra (tzv. obalovny) se nejčastěji používají buď stacionární (nepřemístitelné) nebo mobilní (přemístitelné).



Obr. 14: Mobilní obalovna [2]



Obr. 15: Stacionární obalovna [15]

Před samotným zpracováním se ještě R-materiál drtí, a pokud byl materiál získán bouráním, třídí se a na základě laboratorních zkoušek se upravuje jeho zrnitost. K R-materiálu je poté přidáváno pojivo, přísady, voda a příp. další doplňující materiál (přírodní nebo umělé kamenivo). Pojiva se používají stejná jako u recyklací netuhých vozovek za studena na místě (asfaltová emulze, zpěněný asfalt, hydraulická pojiva či jejich kombinace). Takto zhotovená směs se poté převezí na stavbu a zpracuje běžnými postupy. Během dopravy nesmí dojít k jejímu znečištění, segregaci a takové změně vlhkosti, při které by směs nebylo možno zhutnit na požadovanou míru zhutnění. [2], [3]

4.3 Pokládka recyklované vrstvy

Směs smíchaná na obalovně se po dovezení na stavbu pokládá pomocí běžných finišerů. Vrstva musí následně zrátn, délka zrání závisí na vlhkosti vzduchu, množství vody ve směsi, či mezerovitosti. Na vyzrálou vrstvu se poté stejně jako u recyklací za studena na místě pokládá horká asfaltová směs nebo nátěr. [2]

5 PRAKTICKÁ ČÁST: STAV VYBRANÝCH STAVEB REALIZOVANÝCH ČÁSTEČNOU RECYKLACÍ NA MÍSTĚ ZA STUDENA

Ze staveb, které byly provedeny částečnou technologií recyklace na místě za studena, jsem si vybral pro podrobnější zkoumání 2 úseky. Oba leží nedaleko Přerova na silnici I/47. Provedl jsem zde vizuální prohlídku a zhotovili jsme vývrty, které byly následně testovány v laboratoři. Snaha byla touto zjednodušenou formou stanovit úspěšnost technologie částečné recyklace na místě za studena.

5.1 Charakteristika silnice I/47

Silnice I/47 je silnice I. třídy, která spojuje Přerov s Lipníkem nad Bečvou. Měří asi 15 km a jedná se o torzo původně mnohem delší silnice spojující Brno a Ostravu, která je postupně nahrazována souběžně vedenými úseky dálnice D1 a převáděna do kategorie II. třídy. Po kompletním zprovoznění dálnice D1 silnice I/47 zanikne úplně (resp. bude převedena do kategorie II. třídy). [12]



Obr. 16: Silnice I/47

5.2 Úsek silnice I/47 Přerov – Lýsky

5.2.1 Lokalizace úseku



Obr. 17: Lokalizace úseku Přerov – Lýsky [14]

5.2.2 Intenzita vozidel

Roční průměr denních intenzit těžkých nákladních vozidel (TNV) je zde 1098 vozidel / den.

5.2.3 Základní údaje o stavbě

- lokalita: Olomoucký kraj
- realizace stavby: srpen 2007
- použité pojivo: asfaltová emulze modifikovaná (2,5% hm. v recyklované směsi)
- délka úseku: 2,1 km
- plocha vozovky: 16406 m²
- celková skladba vrchních vrstev vozovky po recyklaci:

Tab. 7: Skladba vrstev vozovky: Přerov – Lýsky [8]

vrstva		tl. [mm]
SMA 11 S	Asfaltový koberec mastixový	45
ACL 22+	Asfaltový beton pro obrusné ložné vrstvy	60
RV	Recyklovaná vrstva	100
celkem		205

5.2.4 Složení recyklované směsi

Samostatné přílohy této práce (přílohy 1 - 4) obsahují průkazní zkoušku recyklované směsi, která sloužila k jejímu navržení právě při částečné recyklaci na tomto úseku. Tyto přílohy obsahují: Návrh čáry zrnitosti recyklované směsi, Vlastnosti použité asfaltové směsi, Fyzikálně-mechanické vlastnosti navržené recyklované směsi pro různý obsah asfaltu a v poslední z těchto příloh je uvedeno složení recyklované vrstvy, jež bylo navrženo.

5.2.5 Vizuální prohlídka

Při vizuální prohlídce úseku byly zjištěny viditelné poruchy vozovky pouze na začátku úseku u Přerova. Zde došlo k trvalé deformaci příčného řezu ve stopách těžkých nákladních vozidel. Tyto vyjeté koleje jsou v délce asi 100 m od dilatační spáry, která odděluje začátek posuzovaného úseku, směrem na Lýsky. Mají šířku asi 60 cm a jejich hloubka se pohybuje od 10 mm do 15 mm. V těchto trvalých deformacích příčného řezu se začínají objevovat síťové trhliny.



Obr. 18: Trvalé deformace příčného řezu

Vzhledem k tomu, že zbytek úseku až po obec Lýsky nevykazuje žádné, nebo jen velmi drobné poruchy a dopravní zatížení TNV je po celé délce úseku stejné, lze usuzovat, že ze začátku úseku nastaly problémy díky nedodržení technologického předpisu stavby. Také mohlo hrát roli špatné složení recyklační směsi, která se mohla zpočátku úseku lišit od optimálního složení recyklační směsi, jež bylo navrženo.

Protože kdyby bylo složení recyklační směsi navrženo špatně, projevilo by se to na celém úseku. Dalším důvodem pro příčné deformace může být nedostatečně únosné podloží, které se při částečné recyklaci za studena ponechává.

Jak již bylo zmíněno, navržené složení recyklační směsi je obsaženo v samostatných přílohách této práce.



Obr. 19: Vznikající síťové trhliny

5.2.6 Zkušební práce

Na tomto úseku jsme provedli 1 jádrový vývrt, ze kterého bylo připraveno zkušební těleso, které bylo dle ČSN EN 13286-42 testováno v laboratoři na pevnost v příčném tahu. Stanovení pevnosti v příčném tahu je definováno v kapitole 3.10 této práce.

Naměřené údaje:

$$F = 5,895 \text{ kN}$$

$$h_1 = 0,0488 \text{ m}; h_2 = 0,0483 \text{ m}; h_3 = 0,0476 \text{ m}$$

$$D_1 = 0,102 \text{ m}; D_2 = 0,100 \text{ m}; D_3 = 0,104 \text{ m}$$

Vypočítané údaje:

$$h = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} = \frac{0,0488 + 0,0483 + 0,0476}{3} = \underline{0,0482 \text{ m}}$$

$$D = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3} = \frac{0,102 + 0,100 + 0,104}{3} = \underline{0,102 \text{ m}}$$

$$R_{it} = \frac{2 * F}{\pi * H * D} = \frac{2 * 5,895 * 10^3}{\pi * 0,0482 * 0,102} = 763,338 \text{ kPa} = \underline{0,763 \text{ MPa}}$$

$$\underline{R_{it} = 0,763 \text{ MPa} > R_{it \text{ tab}} = 0,250 \text{ MPa}}$$

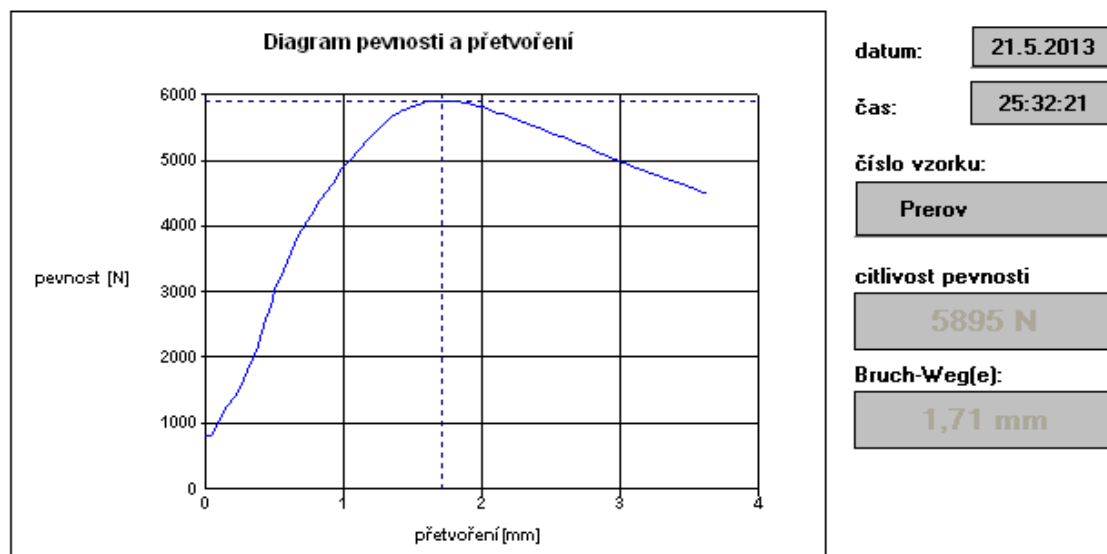
5.2.7 Vyhodnocení

Pevnost v příčném tahu, kterou jsme zjistili na zkušebním tělese v laboratoři je vyšší než minimální pevnost v příčném tahu dle TP 208, (viz Tab. 6). Z toho vyplývá, že recyklovaná vrstva v konstrukci vozovky je dostatečně únosná.

Závěrem lze říci, že vzhledem k tomu, že na tomto úseku silnice I/47 Přerov – Lýsky, byla prováděna částečná recyklace za studena již před 6 lety, je až na začátek úseku, kde jsou příčné deformace, v dobrém stavu.



Obr. 20: Detail jádrového vývrtu č.1



Obr. 21: Diagram pevnosti a přetvoření pro zkušební těleso č.1

5.3 Silnice I/47 Prosenice – Osek

5.3.1 Lokalizace úseku



Obr. 22: Lokalizace úseku Prosenice – Osek [14]

5.3.2 Intenzita vozidel

Roční průměr denních intenzit těžkých nákladních vozidel je zde 2103 voz/den.

5.3.3 Základní údaje o stavbě

- realizace stavby: říjen 2008
- použité pojivo: asfaltová emulze modifikovaná (2,5% v recyklované směsi)
- délka úseku: 1,9 km
- plocha vozovky: 16000 m²
- celková skladba vrchní části vozovky po recyklaci:

Tab. 8: Skladba vrstev vozovky: Prosenice – Osek [8]

vrstva		tl. [mm]
SMA 11 S	Asfaltový koberec mastixový	50
ACL 22+	Asfaltový beton pro ohrusné ložné vrstvy	55
RV	Recyklovaná vrstva	100
celkem		205

5.3.4 Vizuální prohlídka

Při vizuální prohlídce úseku nebyly zjištěny žádné výrazné deformace vozovky či jiné problémy. Pouze na začátku úseku u železničního přejezdu je jeden výtluk a kolem něj drobné trhliny. Kromě něj je tento úsek ve velmi dobrém stavu.



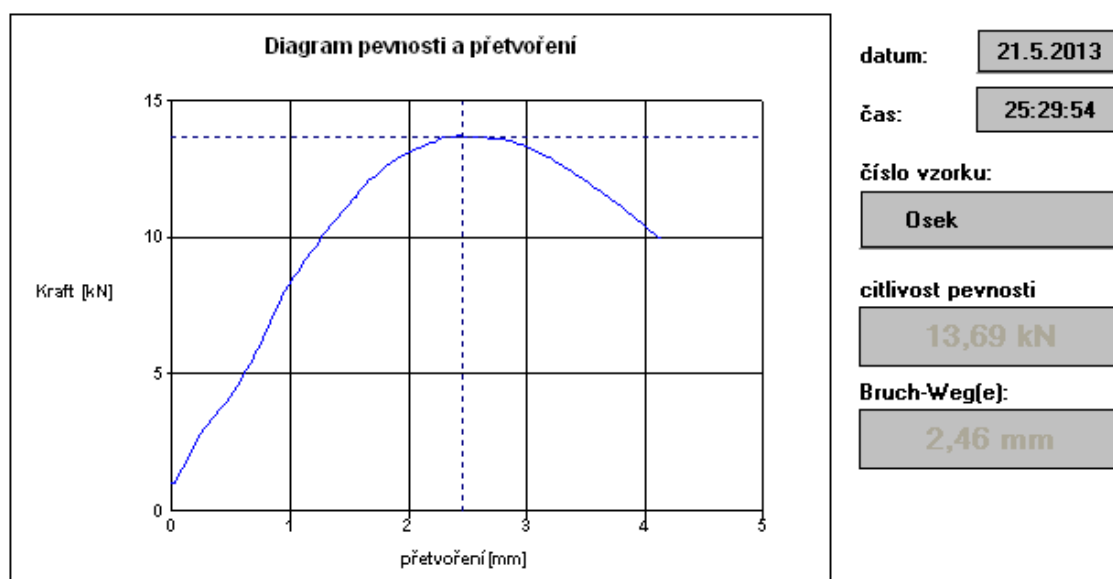
Obr. 23: Výtluk na začátku úseku

5.3.5 Zkušební práce

Na tomto úseku jsme také provedli 1 jádrový vývrt, ze kterého bylo připraveno zkušební těleso, které bylo dle ČSN EN 13286-42 testováno v laboratoři na pevnost v příčném tahu. Stanovení pevnosti v příčném tahu je definováno v kapitole 3.10 této práce.



Obr. 24: Detail jádrového vývrtu č.2



Obr. 25: Diagram pevnosti a přetvoření pro zkušební těleso č.2

Naměřené údaje:

$$F = 13,96 \text{ kN}$$

$$h_1 = 0,0583 \text{ m}; h_2 = 0,0577 \text{ m}; h_3 = 0,0585 \text{ m}$$

$$D_1 = 0,0999 \text{ m}; D_2 = 0,0986 \text{ m}; D_3 = 0,0992 \text{ m}$$

Vypočítané údaje:

$$h = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} = \frac{0,0583 + 0,0577 + 0,0585}{3} = \underline{0,0582 \text{ m}}$$

$$D = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3} = \frac{0,0999 + 0,0986 + 0,0992}{3} = \underline{0,0992 \text{ m}}$$

$$R_{it} = \frac{2 * F}{\pi * H * D} = \frac{2 * 13,96 * 10^3}{\pi * 0,0582 * 0,0992} = 1513,83 \text{ kPa} = \underline{1,514 \text{ MPa}}$$

$$\underline{R_{it} = 1,514 \text{ MPa} > R_{it \text{ tab}} = 0,250 \text{ MPa}}$$

5.3.6 Vyhodnocení

Pevnost v příčném tahu, kterou jsme zjistili na zkušebním tělese v laboratoři je vyšší než minimální pevnost v příčném tahu dle TP 208, (viz Tab. 6). Z toho vyplývá, že recyklovaná vrstva v konstrukci vozovky je dostatečně únosná. Dokonce je pevnost podstatně vyšší, než u úseku č.1.

Tento úsek silnice I/47 Prosenice – Osek je v ještě lepším stavu, než úsek první. Může to být i tím, že je z roku 2008, kdy už byly s částečnou recyklací větší zkušenosti.

6 ZÁVĚR

Účelem bakalářské práce bylo přinést teoretické i praktické poznatky o technologiích recyklací za studena.

V teoretické části jsou zpracovány informace o technologiích recyklací za studena. Práce se věnuje zejména recyklacím netuhých vozovek na místě za studena, jsou zde popsány důvody, proč jsou tyto technologie velmi výhodné, v porovnání s běžnými rekonstrukcemi vozovek a proč by se mohly tedy více používat v ČR. Jsou zde podrobně popsány technologie jak celkové, tak i částečné recyklace na místě za studena a možnosti jejich uplatnění podle druhu poruch vozovek. Dále je pak popsána také technologie recyklací za studena v míchacích centrech.

Hlavním cílem práce bylo se věnovat především částečné recyklaci na místě za studena, která se v současné době, na rozdíl od hloubkové recyklace, v ČR téměř vůbec nepoužívá. A protože je tato technologie v některých státech velice používaná (zejm. v USA), zajímalo mě, proč tomu tak není i v ČR.

V praktické části práce se proto věnuji současnému stavu dvěma úsekům silnic, které byly touto technologií rekonstruovány v roce 2007 (úsek Přerov – Lýsky) a 2008 (úsek Prosenice – Osek), každý v délce asi 2 km. Při vizuální prohlídce těchto úseků jsem zjistil, že kromě začátku úseku Přerov – Lýsky, kde jsou výraznější deformace příčného řezu a síťové trhliny ve stopách těžkých nákladních vozidel (v délce cca 100m od začátku úseku), jsou tyto 2 úseky ve velmi dobrém stavu a nezjistil jsem na nich téměř žádné deformace nebo jiné poruchy či výtluky. Proto si myslím, že trvalé deformace na začátku prvního úseku Přerov - Lýsky mohly vzniknout buď kvůli špatnému podloží vozovky, které se při částečné recyklaci za studena nemění, protože jsou frézovány pouze horní vrstvy vozovky (mohl být špatně proveden průzkum podloží), a nebo také mohly vzniknout nedodržením technologie, či nedodržením navrženého složení recyklované směsi (složení recyklované směsi pro tento úsek je uvedeno v příloze 4 této práce). Dále také byla na 2 zkušebních tělesech stanovena pevnost v příčném tahu (dle ČSN EN 13286-42), která vyšla několikrát vyšší než je minimální požadovaná dle TP 208.

Otázkou tedy zůstává, proč se tato technologie v ČR zatím moc nepoužívá, i přes to je podstatně rychlejší než běžné rekonstrukce silnic (za 1 den je možno opravit až 1,5 km silnice), je také levnější, a jak bylo zjednodušenou formou dokázáno v praktické části této práce, za několik let provozu je vozovka takto opravená pořád v celkem dobrém stavu.

Zřejmě tak hraje roli především nedostatečná odvaha a vůle investorů tuto technologii recyklací používat, protože jsou s ní v ČR zatím poměrně malé zkušenosti, když se zde takto realizovalo dosud pouze 7 staveb. Další bariérou můžou být poměrně omezené manévrovací schopnosti recyklačního vlaku, zejména jednotky CRMX 2, protože úhel max. natočení kol je umožněn pouze do 25° a max. podélný sklon do 6°. A tak, zatímco v USA jsou dlouhé silnice v přímé a recyklační vlak zde nemá příliš problémů, v ČR může mít na silnicích II. a III. tříd, pro které je tato technologie určena převážně, problémy se pohybovat.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] TP 208, *Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek na místě za studena*. MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2009.
- [2] VARAUS, M. *Recyklace netuhých vozovek, Pozemní komunikace II*. Brno: VUT Brno, FAST, Ústav pozemních komunikací, 2012. Přednáška.
- [3] GSCHWENDT, Ivan. *Vozovky: obnova, zesilování a rekonstrukce*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-807-6005-5.
- [4] TP 209, *Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka*. MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2009.
- [5] Asociace pro rozvoj recyklace stavebních materiálů v České republice [online]. [cit. 2013-05-14]. Podstata recyklace stavebních odpadů. Dostupné z: WWW: <http://www.arasm.cz/dok/sbor_rec_2005/005_Fiedler.pdf>.
- [6] Wikipedie [online]. 2013 [cit. 2013-04-26]. Soubor:Crude oil price WTI EIA since 2000.svg Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Crude_oil_price_WTI_EIA_since_2000.svg>.
- [7] eia [online]. 2013 [cit. 2013-05-21]. Petroleum & Other Liquids. Dostupné z WWW: <<http://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=pet&s=rwtc&f=m>>.
- [8] Použité z: Materiály poskytnuté firmou Skanska DS.
- [9] stavební technika [online]. 2013 [cit. 2013-05-11]. Recyklace asfaltových vozovek za studena. Dostupné z WWW: <<http://stavebni-technika.cz/clanky/recyklace-a-asfaltovych-vozovek-za-studena/>>.
- [10] KUDRNA, J. *Diagnostika a management vozovek*. Brno: VUT Brno, FAST, Ústav pozemních komunikací. Přednáška.
- [11] transportation [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Fuel, Asphalt, and Cement Prices. Dostupné z WWW: <<http://www.transportation.wv.gov/highways/contractadmin/Lettings/Pages/FuelandAsphaltPrices.aspx>>.
- [12] Wikipedie [online]. 2013 [cit. 2013-04-17]. Silnice I/47. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Silnice_I/47>.
- [13] Ředitelství silnic a dálnic ČR [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Celostátní sčítání dopravy 2010. Dostupné z WWW: <<http://scitani2010.rsd.cz/pages/map/default.aspx>>.

- [14] Mapy.cz [online]. 2013 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.mapy.cz/#x=17.487504&y=49.476407&z=11>>
- [15] AMMANN [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. SuperQuick 160-280 t/h. Dostupné z WWW: <<http://www.ammann-group.cz/cz/obalovny-asfaltovych-smesi/stacionarni-obalovny-asfaltovych-smesi/superquick-160-280-th/>>
- [16] Ředitelství silnic a dálnic ČR [online]. 2013 [cit. 2013-04-18]. Přehledy z informačního systému o silniční a dálniční síti ČR. Dostupné z WWW: <http://www.rsd.cz/sdb_intranet/sdb/download/prehledy_2013_1_cr.pdf>.
- [17] VARAUS, M. Je možné zlepšit stav netuhých vozovek v ČR? SBORNÍK KONFERENCE ASFALTOVÉ VOZOVKY, 2011.
- [18] NEUWIRT, M. Recyklace z pohledu nových technických podmínek. SBORNÍK KONFERENCE ASFALTOVÉ VOZOVKY, 2011.
- [19] VARAUS, M; HORÁK, L; FIŠER, J. Laboratorní návrhy směsí pro recyklaci za studena podle TP 162. SBORNÍK KONFERENCE ASFALTOVÉ VOZOVKY, 2005.
- [20] iMateriály [online]. 2013 [cit. 2013-03-17]. Recyklace asfaltových vozovek za studena na místě. Dostupné z WWW: <<http://imaterialy.dumabyt.cz/Technologie/Recyklace-asfaltovych-vozovek-za-studena-na-miste.html>>.
- [21] ČNES [online]. 2013 [cit. 2013-04-12]. Studená recyklace. Dostupné z WWW: <<http://www.cnes.cz/index.php?clanek=30>>
- [22] STAVITEL [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. recyklovaná vozovka. Dostupné z WWW: <<http://stavitel.ihned.cz/c1-21766360-recyklovana-vozovka> >

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Ukázka špatného stavu silnic v ČR – síťové trhliny [10]	15
Obr. 2: Stav silnic II. a III. třídy v ČR [2]	16
Obr. 3: Vývoj cen ropy [\$/bbl] [6]	17
Obr. 4: Sestava mechanismů při dávkování cement. suspenze a asfalt. emulze [2]..	24
Obr. 5: Recyklér [8]	24
Obr. 6: Částečná recyklace na místě za studena [8]	25
Obr. 7: Sestava recyklačního vlaku [8]	28
Obr. 8: Pohled na recyklační vlak [8]	28
Obr. 9: Silniční fréza Roadtec RX 900 [8]	29
Obr. 10: Schéma jednotky CRMX 2 [2]	30
Obr. 11: Jednotka CRMX 2	30
Obr. 12: Sběrač směsi Carlson WP-800 [8]	31
Obr. 13: Stanovení pevnosti v příčném tahu	33
Obr. 14: Mobilní obalovna [2]	34
Obr. 15: Stacionární obalovna [23]	35
Obr. 16: Silnice I/47	36
Obr. 17: Lokalizace úseku Přerov – Lýsky [14]	37
Obr. 18: Trvalé deformace příčného řezu	38
Obr. 19: Vznikající síťové trhliny	39
Obr. 20: Detail jádrového vývrtu č.1	40
Obr. 21: Diagram pevnosti a přetvoření pro zkušební těleso č.1	41
Obr. 22: Lokalizace úseku Prosenice – Osek [14]	41
Obr. 23: Výtluk na začátku úseku	42
Obr. 24: Detail jádrového vývrtu č.2	43
Obr. 25: Diagram pevnosti a přetvoření pro zkušební těleso č.2	43

9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Výroba asfaltových směsí v Evropě a USA v roce 2008 [8]	15
Tab. 2: Vývoj průměrných cen ropy a asfaltu [2].....	17
Tab. 3: Přehled technologií recyklace za studena [1]	19
Tab. 4: Technologické procesy recyklace za studena [1]	20
Tab. 5: Přehled staveb prováděných částečnou recyklací za studena.....	32
Tab. 6: Kontrolní zkoušky recyklovaných stmelěných směsí [1]	33
Tab. 7: Skladba vrstev vozovky: Přerov – Lýsky [26].....	37
Tab. 8: Skladba vrstev vozovky: Prosenice – Osek [26]	42

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

\$	dolar
atd.	a tak dál
ACL	Asfaltový beton pro ložné vrstvy
AE Mod	Asfaltová emulze modifikovaná
AE	asfaltová emulze
apod.	a podobně
bbl	barel
cca	přibližně
CEM	cementová suspenze
cm	centimetr
CO ₂	oxid uhličitý
ČR	Česká republika
ČSN EN	Česká technická norma zavádějící evropskou normu
ČSN	Česká technická norma
daily	denně
hod.	hodina
km	kilometr
m ²	metr čtverečný
max.	maximálně
mil.	milion
min.	minimálně
mm	milimetr
monthly	měsíčně
např.	například
Obr.	obrázek
Pozn.	poznámka
RV	recyklovaná vrstva
RS	recyklovaná směs
SMA	Asfaltový koberec mastixový
t	tuna
Tab.	tabulka
USA	Spojené státy americké
zejm.	zejména

11 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Návrh čáry zrnitosti recyklované směsi (silnice I/47 Přerov – Lýsky) [8]
- Příloha 2: Vlastnosti použité asfaltové emulze (silnice I/47 Přerov – Lýsky) [8]
- Příloha 3: Složení recyklované směsi (silnice I/47 Přerov – Lýsky) [8]
- Příloha 4: Složení recyklované směsi (silnice I/47 Přerov – Lýsky) [8]
- Příloha 5: Fotodokumentace z úseku silnice I/47 Přerov - Lýsky

Příloha 1: Návrh čáry zrnitosti recyklované směsi (silnice I/47 Přerov – Lýsky) [8]

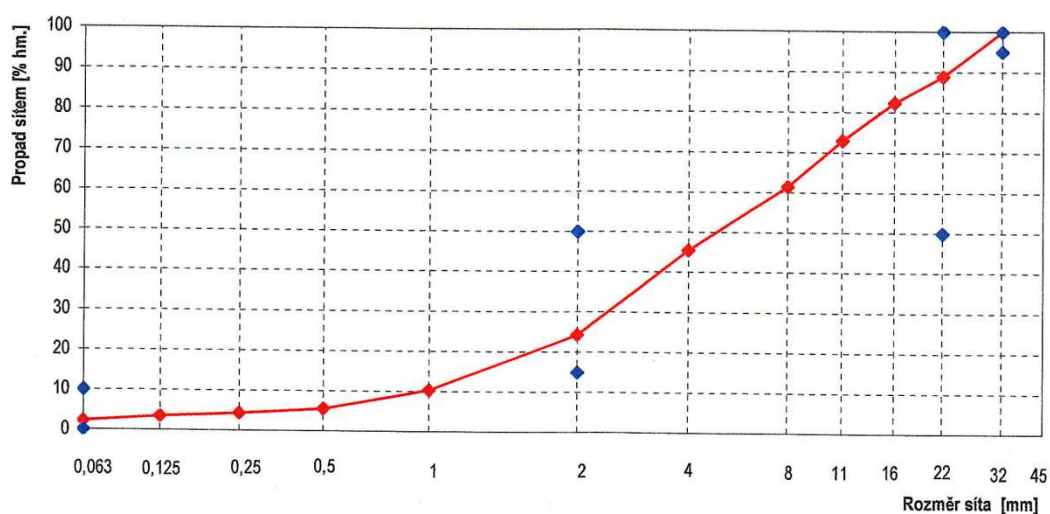
NÁVRH ČÁRY ZRNITOSTI RECYKLOVANÉ SMĚSI

Objednatel : **SKANSKA DS a.s. - závod 79**

R-AE

Druh směsi : Směs recyklovaná za studena - R-AE

Celkem	Síto	Propad [%hm.] jednotlivých frakcí										Průměr
% hm.	mm			vz. č. 1	vz. č. 2							
100,0	63			100,0	100,0							100,0
100,0	45			100,0	100,0							100,0
100,0	32			100,0	100,0							100,0
88,9	22			88,5	89,3							88,9
82,4	16			83,2	81,6							82,4
73,0	11			73,6	72,3							73,0
61,4	8			57,3	65,4							61,4
45,5	4			46,2	44,7							45,5
24,3	2			24,8	23,8							24,3
10,3	1			10,9	9,7							10,3
5,5	0,50			5,8	5,1							5,5
4,3	0,25			4,6	4,0							4,3
3,4	0,125			3,4	3,3							3,4
2,2	0,063			2,3	2,0							2,2
100,0	% hm.											100,0



Příloha 2: Vlastnosti použité asfaltové emulze (silnice I/47 Přerov – Lýsky) [8]

VLASTNOSTI POUŽITÉ ASFALTOVÉ EMULZE

Druh asfaltového pojiva	:	Asfaltová emulze KATEBIT PSM
Výrobce asfaltového pojiva	:	PARAMO, a.s.
Země	:	ČR

Základní vlastnosti asfaltového pojiva :

Jakost		homogenní, hladká
Obsah asfaltu	[% hm.]	61,9
Hodnota pH		3,5
Doba výtoku	[s]	29
Druh náboje		kation
Mísitelnost s cementem		< 2

Poznámka: Vzorek asfaltového pojiva použitého pro průkazní zkoušku recyklované směsi typu **R-AE**
Kontrolní zkoušky pro asf. emulzi budou pro dobu provádění prací doloženy od výrobce asf. emulze

Příloha 3: Fyzikálně-mechanické vlastnosti navržené recyklované směsi s různým obsahem asfaltu (silnice I/47 Přerov – Lýsky) [8]

**FYZIKÁLNĚ-MECHANICKÉ VLASTNOSTI NAVRŽENÉ
RECYKLOVANÉ SMĚSI S RŮZNÝM OBSAHEM ASFALTU**

Směs recyklovaná za studena - R-AE
I/47 Přerov - Lýsky

R-AE

Objednatel : SKANSKA DS a.s. - závod 79
Druh konstrukční vrstvy : Ložní

Sledovaná vlastnost	Jednotka	Varianta I	Varianta II
obsah emulze	[% hm.]	1,5	2,5
opt. vlhkost (Proctorova zk.)	[% hm.]	3,6	4,1
obsah asfaltu	[% hm.]	4,43	5,03
mezerovitost ve vodě	[% objemu]	9,7	9,2
stabilita SM	[kN]	13,5	15,4
přetvoření PM	[10 ⁻¹ mm]	25	31
pokles stability K _{SM}	-	0,6	0,5

Na základě získaných výsledků je navržen : obsah asf. emulze ve výši: 2,5 % hm.

Poznámka :

Příloha 4: Složení recyklované směsi (silnice I/47 Přerov - Lýsky) [8]

SLOŽENÍ RECYKLOVANÉ SMĚSI

Firma : SKANSKA DS a.s. - závod 79

Akce : I/47 Přerov - Lýsky

Směs recyklovaná za studena - R-AE

Jednotlivé komponenty asfaltové směsi	% hm.
Materiál stávající podkladní vrstvy	97,5
Asfaltová emulze KATEBIT PSM	2,5
Celkem	100,0
Optimální vlhkost směsi	4,1

ZRNITOST SMĚSI KAMENIVA

Síto [mm]	Propad sítem [% hm.]	
	Návrh	Mezní čáry podle TEP SKANSKA č. 78
63	100,0	100
45	100,0	-
32	100,0	95 - 100
22	88,9	50 - 100
16	82,4	-
11	73,0	-
8	61,4	-
4	45,5	-
2	24,3	15 - 50
1	10,3	-
0,5	5,5	-
0,25	4,3	-
0,125	3,4	-
0,063	2,2	0 - 10

Poznámka :

Příloha 5: Fotodokumentace



Obr. 1: Začátek úseku Přerov – Lýsky, viditelné příčné deformace



Obr. 2: Provádění jádrového vývrtu



Obr. 3: Zapravení otvoru po vývrtu



Obr. 4: Konec úseku Prosenice - Osek